

蛍光X線分析法による黒曜石の産地同定(2)

角縁 進¹⁾・宇都宮 恵²⁾

Identification of the occurrence point of obsidian by X-ray
fluorescence analysis, part 2

Susumu KAKUBUCHI and Megumi UTSUNOMIYA

I. はじめに

前報(角縁・宇都宮, 2002)では, 黒曜石の非破壊による蛍光X線分析に際しての測定条件と, 測定試料ごとの変動について報告をおこなった。このなかで, 測定の基準試料として角縁ほか(1999)で使用されたのと同じ1:5希釈のJB-1ガラスディスクを用いて各元素のK α 線の位置でJB-1ガラス円板とのX線強度比を用いていた。今回これまでの分析方法を若干変更し, 基準試料には腰岳の黒曜石を岩石カッターで切り出し, 表面を#2000の研磨砂で磨いたディスクを用いることにした。腰岳産の黒曜石は球顆を含まずに均質な組成を有し, 入手の容易さからも基準試料として適するものと考えられる。本報告では分析方法の若干の修正箇所を報告するとともに, この新しい分析方法を用いて, 長崎県松浦市御厨町大崎免に産出する黒曜石礫の分析をおこなった結果について報告する。

II. 測定条件および測定方法

黒曜石は一般にNb, Zr, Y, Sr, Rbなどのイン

コンパチブル元素を多く含むため, これらの元素の測定では十分な蛍光X線強度を得ることができ, 角縁・宇都宮(2002)で報告した条件よりも短い測定時間でも満足のいく再現性を得ることが出来ることがわかった。第1表に新しい測定条件を示した。測定には前報と同じ, 佐賀大学文化教育学部設置の波長分散型蛍光X線分析装置(日本電子:JSX-60S7, 第1図)を使用した。

角縁・宇都宮(2002)によれば, 黒曜石を切り出したディスクの各元素の特性X線スペクトル強度は, 少なくとも厚さ3mmまでは変化しないことが報告されている。したがって基準試料となる黒曜石ディスクの厚さは3mm以上であれば一定のX線強度を得ることが出来るため, 厚さについて厳密である必要はない。今回は厚さ18mmの腰岳産の黒曜石のディスクを基準試料として用いることにした。

測定する各試料は表面をブラシで洗浄した後, 蒸留水中で超音波洗浄をおこない表面の汚れを除去する前処理を行った後, 110℃の乾燥機中で乾燥させた。これらの試料をスポンジを敷いた分析

第1表 測定条件

Element	Line	Angle(2 θ)			Crystal	Detector	Slit	Counting time(s)		Overlap spectrum
		Bg1	Peak	Bg2				Peak	Bg	
Nb	K α	21.09	21.40	21.77	LiF	SC	1S	20	10	Y-K β
Zr	K α	-	22.55	23.20	LiF	SC	1S	10	10	Sr-K β
Y	K α	23.30	23.80	24.30	LiF	SC	1S	20	10	Rb-K β
Sr	K α	24.65	25.15	25.65	LiF	SC	1S	10	10	
Rb	K α	26.02	26.62	27.17	LiF	SC	1S	20	10	

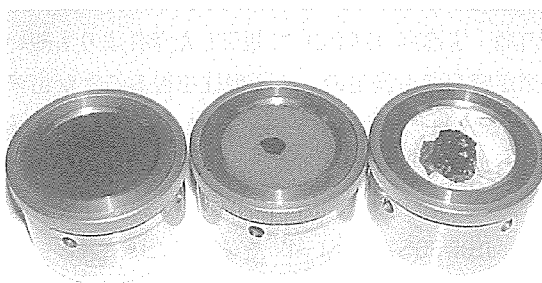
SC: scintillation counter; Sample spin ON

1) 佐賀大学文化教育学部

2) 富士町立富士中学校



第1図 波長分散型蛍光X線分析装置JSX-60S7



第2図 試料ホルダーにセットした分析試料

左は基準試料

用ホルダーにセットし、試料が機械中に飛散しないようにポリ塩化ビニルフィルムを被せ、 $\phi 48\text{mm}$ のチタン制マスクで押さえた(第2図)。碟の形状によっては碟の周りをキムワイプで動かないように固定した。

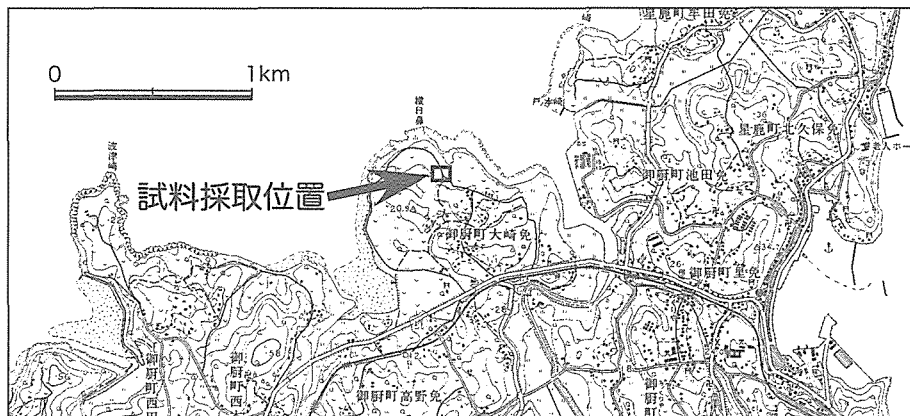
本分析装置には6個の試料を一度にセットでき

第2表 基準試料の20秒間のX線強度カウント数

	Bg1	Peak	Bg2	Peak-Bg	Sr=1
Nb	34834	41653	32590	7941	0.581
Zr	-	60374	29149	31225	2.285
Y	29429	48033	26204	20217	1.480
Sr	25016	37314	22284	13664	1.000
Rb	21271	69692	19251	49431	3.618

るが、必ず1番目に基準試料をセットし、基準試料とのX線強度比を求めた。これは測定中のX線管球の変動によって生じるX線強度の変動を打ち消すためである。正確なX線強度を得るためには基準試料とのX線強度比を用いることが重要である。また各元素のX線強度は、 $K\alpha$ 線のピーク位置でのX線強度からバックグラウンドの位置でのX線強度を引いたものである。本装置で未知試料5個の分析に要する時間は約45分である。測定された各試料のX線強度比はオンラインで繋がれたHewlett-Packard社製デスクトップコンピュータ(9815A)からプリントアウトされる。プリントアウトされたデータは表計算ソフト(Microsoft Excel)に入力し各種データ処理をおこなった。

プリントアウトされたデータは基準試料(腰岳黒曜石ディスク)の各元素のX線強度を1とした場合の強度比である。基準試料において第1表に示されたピークとバックグラウンド位置における20秒間のX線強度カウント数を第2表に示す。いま測定されたSr- $K\alpha$ の強度を1とすると、各元素のX線強度比はNb- $K\alpha$ 0.581、Zr- $K\alpha$ 2.285、Y- $K\alpha$ 1.480、Rb- $K\alpha$ 3.618と計算される。したが



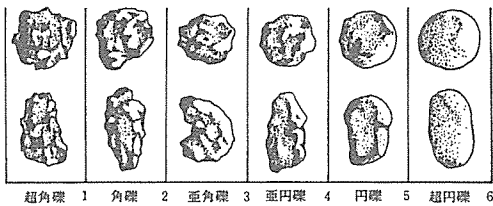
第3図 試料採取地点

って測定試料の真のX線強度は基準試料との強度比に上述の係数を掛けたものとなる。

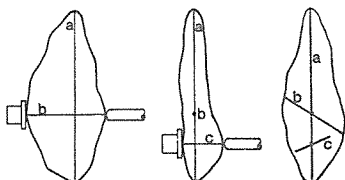
III. 長崎県松浦市大崎免産の黒曜石礫の測定

九州には数多くの黒曜石産地が報告されている(藁科・東村, 1985など)。特に長崎県には黒曜石産地が集中している(副島, 1982)。長崎県松浦市御厨町大崎免は日本海に面した小さな半島で、東隣の星鹿半島の牟田免とともに数多くの黒曜石礫が土壤中に散在しているのが知られている。今回黒曜石礫を採取した地点を第3図に示した。この付近には中期中新世の北松浦玄武岩が分布し、上面が平らな台地状の形態をなしている。台地上は耕作が進んでおり畑地として利用されている。黒曜石礫は畑地の耕作土壌の中に含まれており、耕作土壌に含まれる他の礫種は玄武岩のみであった。

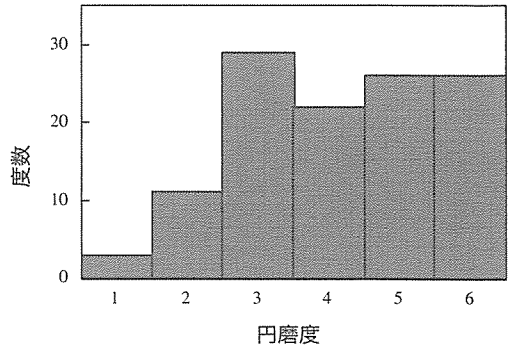
採取された黒曜石礫は ϕ 8mmから最大 ϕ 63mmである。採取にあたっては、人為的な要素を含まないように、確認される全ての黒曜石礫について採取をおこなうよう心がけた。採取した礫から無作為に117試料を選び、礫の円磨度(岩塊や岩片のかどが摩滅されて丸くなっていく度合いを示す)と大きさの測定をおこなった。円磨度の区分には、Pettijohn *et al.* (1972) の区分(第4図)を使用した。礫の大きさの測定はノギスにより各礫の長軸(a)、中間軸(b)および短軸(c)の長さの3カ所を計測した(第5図)。



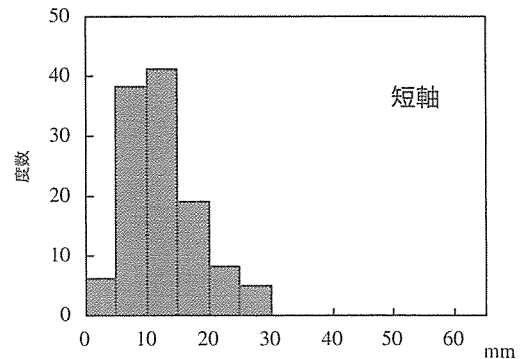
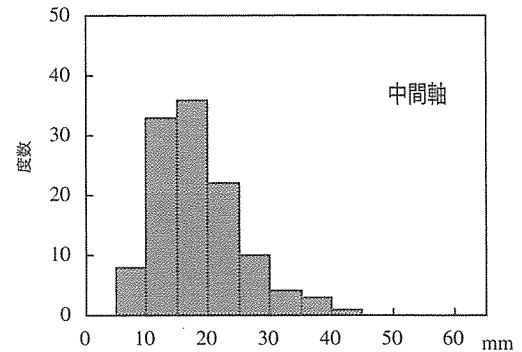
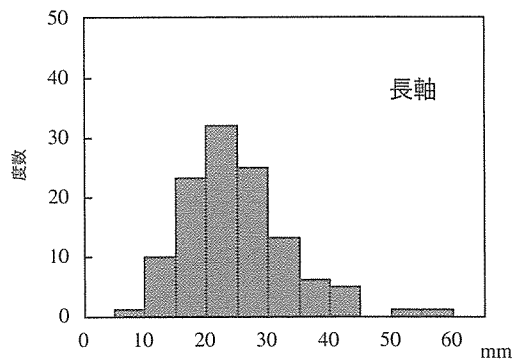
第4図 円磨度の区分 (Pettijohn *et al.*, 1972)



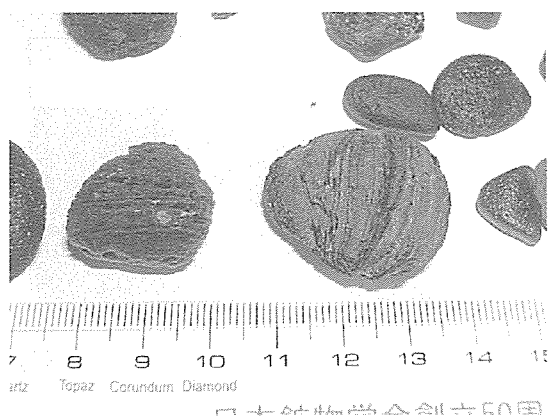
第5図 礫の計測箇所 (Pettijohn, 1975)



第6図 黒曜石礫の円磨度のヒストグラム



第7図 計測された礫の大きさのヒストグラム



第8図 採取された黒曜石礫

表面に流理構造による縞模様が認められる

計測結果を見ると、円磨度は亜角礫～超円礫までほぼ同じ割合で存在し、角礫や超角礫は少ない（第6図）。礫の大きさでは、長軸が20～25mmが最大となる分布を示し、中間軸は15～20mm、短軸は10～15mmのやや扁平な細長い形が多いことがわかる（第7図）。黒曜石礫の表面は流理による縞模様や小さな窪みを有しているものが多い（第8図）。

IV. 考察

第3表に蛍光X線分析結果を示した。測定されるデータは基準試料として用いている腰岳黒曜石との強度比であるので、第2表の係数をそれぞれに掛け、さらにそれぞれの元素の蛍光X線強度の合計が100となるように、すなわち $Nb+Zr+Y+Sr+Rb=100$ として、各元素の蛍光X線強度の割合（%）を求めた。望月（1998）はZr, Y, Sr, Rbの4元素についてこの数値を求め、“分率”と呼んでいる。望月（1998）ではNbは測定されていないが、Nbはプレート内玄武岩である壱岐島や隠岐に産するアルカリ玄武岩の黒曜石では濃集していることが予想される。したがって西南日本の黒曜石の蛍光X線分析による産地同定時には、重要な指標となりうる可能性があるので、分率の計算には加えておく必要がある。

化学組成分析の結果から、今回分析された黒曜石礫は9つのグループに区分される事が明らかになった。それぞれのグループに区分される黒曜石

礫の個数とその割合は以下の通りであり、グループ2に区分されるものが圧倒的に多い。

グループ1：13個（11.1%）

グループ2：69個（59.0%）

グループ3：1個（0.9%）

グループ4：1個（0.9%）

グループ5：10個（8.5%）

グループ6：18個（15.4%）

グループ7：2個（1.7%）

グループ8：1個（0.9%）

グループ9：2個（1.7%）

基準試料との蛍光X線強度比から、グループ2は今回基準試料に用いた腰岳黒曜石と同じ化学組成を持ったものであることがわかる。第9図に元素%または元素比を縦軸・横軸にとった散布図を示した。これらのグラフから、各グループは互いに独立した群をなしていることがわかる。測定された元素のうち、Rb, Sr, Zrの3元素がX線強度も高く、各グループの違いを示すのに有効である。第10図にこれら3元素を頂点にした三角図を示した。この図からも明らかなように、それぞれのグループは互いに独立した群をなしている。角緑・宇都宮（2002）で議論されたように、測定試料の大きさが小さくまた厚さが薄くなった場合、この三角図上ではZrの頂点側に伸びた形を示す。グループ2はやや右下に伸びた形を示しているのはこのことによるものと考えられる。

長崎県松浦市御厨町大崎免や牟田免から産する黒曜石の化学組成についての研究は、藁科・東村（1988）および二宮ほか（1991）によっておこなわれてきた。藁科・東村（1988）は日本各地の黒曜石について、Ca, K, Ti, Mn, Fe, Rb, Sr, Y, Zr, Nbの計10元素の蛍光X線分析をおこない、各黒曜石の原産地の元素比と標準偏差を明らかにしている。この報告によれば長崎県松浦市産の黒曜石は78試料が分析され、松浦第一～松浦第四までの4グループに分かれるとしている。このように、同じ原産地から採取された原石であっても、複数の群が作られる理由として、(1)同じ原産地で異なった年代に異なったマグマから黒曜石が生成

第3表 黒曜石の蛍光X線分析結果

Sample No.	グループ1											
	6	10	25	42	43	50	51	56	59	73	85	88
Nb*	0.373315	0.534568	0.621464	0.297544	0.430649	0.753106	0.305767	0.604795	0.316254	0.634266	0.246388	0.150175
Zr*	0.338002	0.454602	0.578553	0.280369	0.402639	0.695083	0.273883	0.429258	0.352834	0.548501	0.236445	0.120060
Y*	0.368375	0.502295	0.625091	0.295039	0.400804	0.734364	0.289662	0.475502	0.370069	0.576010	0.237956	0.126752
Sr*	0.299188	0.394468	0.492760	0.240531	0.359963	0.630403	0.236449	0.352410	0.291620	0.493966	0.195608	0.091589
Rb*	0.352868	0.478432	0.590051	0.28515	0.400279	0.720034	0.270562	0.422505	0.35311	0.565914	0.232254	0.120548
Nb*×0.581	0.216896	0.310584	0.361071	0.172873	0.250207	0.437555	0.177651	0.351386	0.183744	0.368509	0.143151	0.087252
Zr*×2.285	0.772335	1.038766	1.321994	0.640643	0.920030	1.588265	0.625823	0.980855	0.806226	1.253325	0.540277	0.274337
Y*×1.480	0.545195	0.743397	0.925135	0.436658	0.593190	1.086859	0.428700	0.703743	0.547702	0.852495	0.352174	0.187593
Sr*	0.299188	0.394468	0.492760	0.240531	0.359963	0.630403	0.236449	0.352410	0.291620	0.493966	0.195608	0.091589
Rb*×3.618	1.276676	1.730967	2.134805	1.031673	1.448209	2.605083	0.978893	1.528623	1.277552	2.047477	0.840293	0.436143
Nb%	6.97	7.36	6.90	6.85	7.01	6.89	7.26	8.97	5.91	7.35	6.91	8.10
Zr%	24.83	24.63	25.25	25.40	25.76	25.02	25.57	25.04	25.95	24.99	26.08	25.47
Y%	17.53	17.62	17.67	17.31	16.61	17.12	17.52	17.97	17.63	17.00	17.00	17.42
Sr%	9.62	9.35	9.41	9.54	10.08	9.93	9.66	9.00	9.39	9.85	9.44	8.50
Rb%	41.05	41.04	40.77	40.90	40.55	41.04	40.00	39.03	41.12	40.82	40.56	40.50
Nb/Sr	0.725	0.787	0.733	0.719	0.695	0.694	0.751	0.997	0.630	0.746	0.732	0.953
Zr/Sr	2.581	2.633	2.683	2.663	2.556	2.519	2.647	2.783	2.765	2.537	2.762	2.995
Y/Sr	1.822	1.885	1.877	1.815	1.648	1.724	1.813	1.997	1.878	1.726	1.800	2.048
Rb/Sr	4.267	4.388	4.332	4.289	4.023	4.132	4.140	4.338	4.381	4.145	4.296	4.762
Nb/Zr	0.281	0.299	0.273	0.270	0.272	0.275	0.284	0.358	0.228	0.294	0.265	0.318
Y/Zr	0.706	0.716	0.700	0.682	0.645	0.684	0.685	0.717	0.679	0.680	0.652	0.684
Sr/Zr	0.387	0.380	0.373	0.375	0.391	0.397	0.378	0.359	0.362	0.394	0.362	0.334
Rb/Zr	1.653	1.666	1.615	1.610	1.574	1.640	1.564	1.558	1.585	1.634	1.555	1.590
Rb%	54.4	54.7	54.1	53.9	53.1	54.0	53.2	53.4	53.8	54.0	53.3	54.4
Sr%	12.7	12.5	12.5	12.6	13.2	13.1	12.8	12.3	12.3	13.0	12.4	11.4
Zr%	32.9	32.8	33.5	33.5	33.7	32.9	34.0	34.3	33.9	33.0	34.3	34.2
円磨度	6	6	6	5	4	6	2	5	5	4	3	4
長軸 (mm)	21.9	29.5	30.5	18.2	21.0	34.5	20.9	22.4	21.0	29.2	14.5	14.0
中間軸	13.2	17.2	27.0	13.3	13.8	31.3	15.4	19.0	15.7	24.4	12.4	6.4
短軸	8.9	12.7	21.6	10.6	11.5	17.1	11.4	12.7	9.4	13.3	5.3	5.3

	グループ1	グループ2											
Sample No.	110	1	2	3	5	7	8	9	11	12	13	14	
Nb*	0.648163	0.179119	0.270853	0.525666	0.604721	0.444047	0.378772	0.328285	0.407290	0.498792	0.351026	0.575701	
Zr*	0.528934	0.167480	0.258090	0.498102	0.605547	0.385647	0.360976	0.305063	0.384502	0.426721	0.347248	0.549333	
Y*	0.560928	0.152459	0.230369	0.469664	0.585612	0.358223	0.346686	0.274587	0.368811	0.409578	0.327109	0.528459	
Sr*	0.474154	0.172980	0.273079	0.487748	0.597536	0.356185	0.360957	0.292049	0.393331	0.427587	0.348149	0.556896	
Rb*	0.527382	0.153883	0.251877	0.462300	0.582429	0.354247	0.348269	0.272784	0.358091	0.403994	0.324035	0.524533	
Nb*×0.581	0.376583	0.104068	0.157366	0.305412	0.351343	0.257991	0.220067	0.190734	0.236635	0.289798	0.203946	0.334482	
Zr*×2.285	1.208614	0.382692	0.589736	1.138163	1.383675	0.881203	0.824830	0.697069	0.878587	0.975057	0.793462	1.255226	
Y*×1.480	0.830173	0.225639	0.340946	0.695103	0.866706	0.530170	0.513095	0.406389	0.545840	0.606175	0.484121	0.782119	
Sr*	0.474154	0.172980	0.273079	0.487748	0.597536	0.356185	0.360957	0.292049	0.393331	0.427587	0.348149	0.556896	
Rb*×3.618	1.908068	0.556750	0.911291	1.672601	2.107228	1.281666	1.260037	0.986933	1.295573	1.461650	1.172359	1.897760	
Nb%	7.85	7.22	6.93	7.10	6.62	7.80	6.92	7.41	7.06	7.71	6.79	6.93	
Zr%	25.19	26.54	25.95	26.47	26.08	26.64	25.95	27.09	26.23	25.93	26.43	26.01	
Y%	17.30	15.65	15.00	16.17	16.33	16.03	16.14	15.79	16.29	16.12	16.13	16.20	
Sr%	9.88	11.99	12.02	11.35	11.26	10.77	11.35	11.35	11.74	11.37	11.60	11.54	
Rb%	39.77	38.61	40.10	38.91	39.71	38.75	39.64	38.35	38.67	38.87	39.05	39.32	
Nb/Sr	0.794	0.602	0.576	0.626	0.588	0.724	0.610	0.653	0.602	0.678	0.586	0.601	
Zr/Sr	2.549	2.212	2.160	2.334	2.316	2.474	2.285	2.387	2.234	2.280	2.279	2.254	
Y/Sr	1.751	1.304	1.249	1.425	1.450	1.488	1.421	1.392	1.388	1.418	1.391	1.404	
Rb/Sr	4.024	3.219	3.337	3.429	3.527	3.598	3.491	3.379	3.294	3.418	3.367	3.408	
Nb/Zr	0.312	0.272	0.267	0.268	0.254	0.293	0.267	0.274	0.269	0.297	0.257	0.266	
Y/Zr	0.687	0.590	0.578	0.611	0.626	0.602	0.622	0.583	0.621	0.622	0.610	0.623	
Sr/Zr	0.392	0.452	0.463	0.429	0.432	0.404	0.438	0.419	0.448	0.439	0.439	0.444	
Rb/Zr	1.579	1.455	1.545	1.470	1.523	1.454	1.528	1.416	1.475	1.499	1.478	1.512	
Rb%	53.1	50.0	51.4	50.7	51.5	50.9	51.5	49.9	50.5	51.0	50.7	51.2	
Sr%	13.2	15.5	15.4	14.8	14.6	14.1	14.8	14.8	15.3	14.9	15.0	15.0	
Zr%	33.7	34.4	33.2	34.5	33.8	35.0	33.7	35.3	34.2	34.0	34.3	33.8	
円磨度	6	6	4	6	5	5	5	4	5	3	5	6	
長軸 (mm)	28.9	19.0	17.8	21.0	30.1	22.2	25.9	22.7	19.1	21.7	17.2	31.9	
中間軸	18.9	10.6	9.7	16.0	17.1	12.4	10.1	10.7	17.3	17.3	13.6	21.1	
短軸	12.2	8.3	5.3	6.1	9.4	9.2	6.1	8.5	13.3	14.3	5.9	14.0	

*腰岳黒曜石との強度比

第3表 (続き)

グループ 2												
Sample No.	15	18	19	20	21	23	24	26	27	29	32	33
Nb*	0.703092	0.487065	0.458743	0.619538	0.609279	0.480346	0.527034	0.558176	0.303209	0.357678	0.158836	0.348782
Zr*	0.695586	0.498061	0.474658	0.631856	0.608157	0.447920	0.485934	0.583352	0.263066	0.425941	0.154467	0.316126
Y*	0.656856	0.470889	0.448482	0.585296	0.584271	0.428146	0.478539	0.563013	0.258959	0.407692	0.149523	0.306102
Sr*	0.654938	0.466736	0.479772	0.607117	0.578822	0.434775	0.502132	0.554061	0.256348	0.388047	0.162691	0.285115
Rb*	0.628718	0.463073	0.443808	0.559108	0.562835	0.411305	0.463297	0.545989	0.250433	0.399600	0.142903	0.291102
Nb*×0.581	0.408496	0.282985	0.266530	0.359952	0.353991	0.279081	0.306207	0.324300	0.176164	0.207811	0.092284	0.202642
Zr*×2.285	1.589414	1.138069	1.084594	1.443791	1.389639	1.023497	1.110359	1.332959	0.601106	0.973275	0.352957	0.722348
Y*×1.480	0.972147	0.696916	0.663753	0.866238	0.864721	0.633656	0.708238	0.833259	0.383259	0.603384	0.221294	0.453031
Sr*	0.654938	0.466736	0.479772	0.607117	0.578822	0.434775	0.502132	0.554061	0.256348	0.388047	0.162691	0.285115
Rb*×3.618	2.274702	1.675398	1.605697	2.022853	2.036337	1.488101	1.676209	1.975388	0.906067	1.445753	0.517023	1.053207
Nb%	6.92	6.64	6.50	6.79	6.78	7.23	7.12	6.46	7.58	5.74	6.85	7.46
Zr%	26.94	26.71	26.45	27.24	26.60	26.52	25.80	26.55	25.88	26.90	26.22	26.59
Y%	16.48	16.36	16.19	16.34	16.55	16.42	16.46	16.60	16.50	16.68	16.44	16.68
Sr%	11.10	10.96	11.70	11.46	11.08	11.27	11.67	11.04	11.04	10.72	12.08	10.50
Rb%	38.56	39.33	39.16	38.17	38.98	38.56	38.95	39.35	39.01	39.96	38.40	38.77
Nb/Sr	0.624	0.606	0.556	0.593	0.612	0.642	0.610	0.585	0.687	0.536	0.567	0.711
Zr/Sr	2.427	2.438	2.261	2.378	2.401	2.354	2.211	2.406	2.345	2.508	2.169	2.534
Y/Sr	1.484	1.493	1.383	1.427	1.494	1.457	1.410	1.504	1.495	1.555	1.360	1.589
Rb/Sr	3.473	3.590	3.347	3.332	3.518	3.423	3.338	3.565	3.535	3.726	3.178	3.694
Nb/Zr	0.257	0.249	0.246	0.249	0.255	0.273	0.276	0.243	0.293	0.214	0.261	0.281
Y/Zr	0.612	0.612	0.612	0.600	0.622	0.619	0.638	0.625	0.638	0.620	0.627	0.627
Sr/Zr	0.412	0.410	0.442	0.421	0.417	0.425	0.452	0.416	0.426	0.399	0.461	0.395
Rb/Zr	1.431	1.472	1.480	1.401	1.465	1.454	1.510	1.482	1.507	1.485	1.465	1.458
Rb%	50.3	51.1	50.7	49.7	50.8	50.5	51.0	51.1	51.4	51.5	50.1	51.1
Sr%	14.5	14.2	15.1	14.9	14.5	14.8	15.3	14.3	14.5	13.8	15.8	13.8
Zr%	35.2	34.7	34.2	35.4	34.7	34.7	33.8	34.5	34.1	34.7	34.2	35.1
円磨度	6	5	6	6	3	5	6	4	3	6	3	6
長軸 (mm)	29.7	18.6	24.3	28.1	34.2	19.5	27.6	28.6	16.6	22.8	11.8	16.2
中間軸	21.9	17.2	19.7	21.1	23.7	19.4	19.9	25.5	12.7	14.7	8.2	13.0
短軸	14.6	7.1	15.1	12.9	19.5	6.8	12.7	16.8	5.9	10.4	4.3	7.2

グループ 2												
Sample No.	34	35	36	37	40	41	44	45	47	48	49	52
Nb*	0.346810	0.554306	0.580192	0.620765	0.470898	0.730294	0.679665	0.568573	0.546294	0.618005	0.717980	0.541519
Zr*	0.339818	0.541999	0.578539	0.575737	0.424920	0.751044	0.650501	0.533365	0.528088	0.603458	0.72339	0.511966
Y*	0.314328	0.523601	0.553645	0.523229	0.430637	0.689163	0.599599	0.505806	0.517264	0.579653	0.670356	0.508708
Sr*	0.340190	0.548145	0.554575	0.547669	0.418510	0.726124	0.615997	0.506649	0.517390	0.571665	0.695606	0.494246
Rb*	0.305455	0.507335	0.544557	0.529265	0.412831	0.686331	0.607469	0.495202	0.489357	0.561954	0.664324	0.481872
Nb*×0.581	0.201497	0.322052	0.337092	0.360664	0.273592	0.424301	0.394885	0.330341	0.317397	0.359061	0.417146	0.314623
Zr*×2.285	0.776484	1.238468	1.321962	1.315559	0.970942	1.716136	1.486395	1.218739	1.206681	1.378902	1.652946	1.169842
Y*×1.480	0.465205	0.774929	0.819395	0.774379	0.637343	1.019961	0.887407	0.748593	0.765551	0.857886	0.992127	0.752888
Sr*	0.340190	0.548145	0.554575	0.547669	0.418510	0.726124	0.615997	0.506649	0.517390	0.571665	0.695606	0.494246
Rb*×3.618	1.105136	1.835536	1.970207	1.914881	1.493623	2.483146	2.197823	1.791641	1.770494	2.033150	2.403524	1.743413
Nb%	6.98	6.82	6.74	7.34	7.21	6.66	7.07	7.19	6.93	6.90	6.77	7.03
Zr%	26.88	26.24	26.42	26.78	25.59	26.94	26.63	26.52	26.36	26.51	26.83	26.14
Y%	16.11	16.42	16.38	15.76	16.80	16.01	15.90	16.29	16.72	16.50	16.10	16.82
Sr%	11.78	11.62	11.08	11.15	11.03	11.40	11.03	11.02	11.30	10.99	11.29	11.04
Rb%	38.26	38.90	39.38	38.97	39.37	38.98	39.37	38.98	38.68	39.09	39.01	38.96
Nb/Sr	0.592	0.588	0.608	0.659	0.654	0.584	0.641	0.652	0.613	0.628	0.600	0.637
Zr/Sr	2.283	2.259	2.384	2.402	2.320	2.363	2.413	2.405	2.332	2.412	2.376	2.367
Y/Sr	1.367	1.414	1.478	1.414	1.523	1.405	1.441	1.478	1.480	1.501	1.426	1.523
Rb/Sr	3.249	3.349	3.553	3.496	3.569	3.420	3.568	3.536	3.422	3.557	3.455	3.527
Nb/Zr	0.259	0.260	0.255	0.274	0.282	0.247	0.266	0.271	0.263	0.260	0.252	0.269
Y/Zr	0.599	0.626	0.620	0.589	0.656	0.594	0.597	0.614	0.634	0.622	0.600	0.644
Sr/Zr	0.438	0.443	0.420	0.416	0.431	0.423	0.414	0.416	0.429	0.415	0.421	0.422
Rb/Zr	1.423	1.482	1.490	1.456	1.538	1.447	1.479	1.470	1.467	1.474	1.454	1.490
Rb%	49.7	50.7	51.2	50.7	51.8	50.4	51.1	50.9	50.7	51.0	50.6	51.2
Sr%	15.3	15.1	14.4	14.5	14.5	14.7	14.3	14.4	14.8	14.4	14.6	14.5
Zr%	34.9	34.2	34.4	34.8	33.7	34.8	34.6	34.7	34.5	34.6	34.8	34.3
円磨度	5	3	3	3	5	6	5	6	3	3	3	6
長軸 (mm)	20.2	39.4	23.0	26.4	23.5	29.3	30.9	30.5	33.4	26.3	28.7	36.6
中間軸	14.0	25.5	18.6	20.0	19.5	23.2	18.7	16.0	25.7	26.2	24.0	19.4
短軸	10.8	16.7	12.4	9.2	8.8	12.3	13.5	10.7	20.5	15.6	9.5	17.9

*腰岳黒曜石との強度比

第3表 (続き)

グループ2												
Sample No.	54	55	57	58	60	62	63	64	65	66	67	68
Nb*	0.320246	0.449749	0.514772	0.435858	0.457268	0.478993	0.481040	0.245535	0.626528	0.182602	0.608499	0.452817
Zr*	0.310884	0.427624	0.446874	0.397877	0.451487	0.537467	0.563042	0.265987	0.684543	0.183600	0.569717	0.420460
Y*	0.292160	0.411219	0.424968	0.381918	0.455719	0.500795	0.547624	0.224990	0.646210	0.172023	0.560658	0.367518
Sr*	0.294740	0.410315	0.409809	0.411732	0.415172	0.516868	0.502108	0.244028	0.632568	0.189724	0.535907	0.399696
Rb*	0.288472	0.389639	0.403744	0.374189	0.422852	0.506038	0.517521	0.224373	0.63287	0.176608	0.543473	0.381403
Nb*×0.581	0.186063	0.261304	0.299082	0.253233	0.265673	0.278295	0.279484	0.142656	0.364013	0.106091	0.353538	0.263087
Zr*×2.285	0.710370	0.977121	1.021107	0.909149	1.031648	1.228112	1.286551	0.607779	1.564181	0.419526	1.301803	0.960751
Y*×1.480	0.432397	0.608604	0.628953	0.565239	0.674464	0.741177	0.810484	0.332985	0.956391	0.254593	0.829774	0.543927
Sr*	0.294740	0.410315	0.409809	0.411732	0.415172	0.516868	0.502108	0.244028	0.632568	0.189724	0.535907	0.399696
Rb*×3.618	1.043692	1.409714	1.460746	1.353816	1.529879	1.830845	1.872391	0.811782	2.289724	0.638968	1.966284	1.379916
Nb%	6.98	7.13	7.83	7.25	6.78	6.06	5.88	6.67	6.27	6.59	7.09	7.42
Zr%	26.63	26.65	26.73	26.03	26.34	26.73	27.08	28.41	26.94	26.08	26.10	27.08
Y%	16.21	16.60	16.47	16.18	17.22	16.13	17.06	15.57	16.47	15.82	16.64	15.33
Sr%	11.05	11.19	10.73	11.79	10.60	11.25	10.57	11.41	10.89	11.79	10.75	11.27
Rb%	39.13	38.44	38.24	38.76	39.06	39.84	39.41	37.95	39.43	39.71	39.43	38.90
Nb/Sr	0.631	0.637	0.730	0.615	0.640	0.538	0.557	0.585	0.575	0.559	0.660	0.658
Zr/Sr	2.410	2.381	2.492	2.208	2.485	2.376	2.562	2.491	2.473	2.211	2.429	2.404
Y/Sr	1.467	1.483	1.535	1.373	1.625	1.434	1.614	1.365	1.512	1.342	1.548	1.361
Rb/Sr	3.541	3.436	3.564	3.288	3.685	3.542	3.729	3.327	3.620	3.368	3.669	3.452
Nb/Zr	0.262	0.267	0.293	0.279	0.258	0.227	0.217	0.235	0.233	0.253	0.272	0.274
Y/Zr	0.609	0.623	0.616	0.622	0.654	0.604	0.630	0.548	0.611	0.607	0.637	0.566
Sr/Zr	0.415	0.420	0.401	0.453	0.402	0.421	0.390	0.402	0.404	0.452	0.412	0.416
Rb/Zr	1.469	1.443	1.431	1.489	1.483	1.491	1.455	1.336	1.464	1.523	1.510	1.436
Rb%	50.9	50.4	50.5	50.6	51.4	51.2	51.1	48.8	51.0	51.2	51.7	50.4
Sr%	14.4	14.7	14.2	15.4	13.9	14.5	13.7	14.7	14.1	15.2	14.1	14.6
Zr%	34.7	34.9	35.3	34.0	34.7	34.3	35.1	36.5	34.9	33.6	34.2	35.1
円磨度	6	5	5	3	5	6	6	3	5	6	6	6
長軸 (mm)	21.6	34.1	23.5	23.6	27.2	27.1	25.7	18.2	35.8	13.4	28.7	17.3
中間軸	13.9	19.5	19.7	16.9	19.5	21.8	24.0	11.6	23.1	8.0	19.9	15.1
短軸	7.8	19.1	12.2	13.6	11.6	15.9	17.5	8.4	23.1	5.0	15.9	5.4

	グループ2											
Sample No.	69	72	75	76	77	78	79	80	81	82	84	87
Nb*	0.608178	0.551936	0.162292	0.203377	0.522539	0.407728	0.455155	0.191519	0.239334	0.617216	0.298486	0.601592
Zr*	0.601288	0.562667	0.172282	0.189500	0.506288	0.383383	0.403463	0.219598	0.261114	0.584566	0.309281	0.609502
Y*	0.563462	0.533063	0.142822	0.176253	0.493596	0.361817	0.388073	0.185012	0.229046	0.543817	0.287932	0.583763
Sr*	0.556496	0.528966	0.168598	0.197279	0.484311	0.387247	0.383610	0.204775	0.244362	0.556633	0.294650	0.573801
Rb*	0.558872	0.526905	0.153295	0.17897	0.475669	0.359971	0.377503	0.185691	0.22516	0.53509	0.28656	0.580739
Nb*×0.581	0.353351	0.320675	0.094292	0.118162	0.303595	0.236890	0.264445	0.111272	0.139053	0.358602	0.173420	0.349525
Zr*×2.285	1.373943	1.285694	0.393664	0.433008	1.156868	0.876030	0.921913	0.501780	0.596645	1.335733	0.706707	1.392712
Y*×1.480	0.833924	0.788933	0.211377	0.260854	0.730522	0.535489	0.574348	0.273818	0.338987	0.804849	0.426139	0.863969
Sr*	0.556496	0.528966	0.168598	0.197279	0.484311	0.387247	0.383610	0.204775	0.244362	0.556633	0.294650	0.573801
Rb*×3.618	2.021999	1.906342	0.554621	0.647513	1.720970	1.302375	1.365806	0.671830	0.814629	1.935956	1.036774	2.101114
Nb%	6.87	6.64	6.63	7.13	6.91	7.10	7.53	6.31	6.52	7.18	6.57	6.62
Zr%	26.73	26.62	27.67	26.13	26.31	26.24	26.26	28.45	27.96	26.76	26.79	26.37
Y%	16.23	16.33	14.86	15.74	16.62	16.04	16.36	15.53	15.89	16.12	16.16	16.36
Sr%	10.83	10.95	11.85	11.91	11.02	11.60	10.93	11.61	11.45	11.15	11.17	10.87
Rb%	39.34	39.46	38.99	39.08	39.15	39.02	38.91	38.10	38.18	38.78	39.31	39.79
Nb/Sr	0.635	0.606	0.559	0.599	0.627	0.612	0.689	0.543	0.569	0.644	0.589	0.609
Zr/Sr	2.469	2.431	2.335	2.195	2.389	2.262	2.403	2.450	2.442	2.400	2.398	2.427
Y/Sr	1.499	1.491	1.254	1.322	1.508	1.383	1.497	1.337	1.387	1.446	1.446	1.506
Rb/Sr	3.633	3.604	3.290	3.282	3.553	3.363	3.560	3.281	3.334	3.478	3.519	3.662
Nb/Zr	0.257	0.249	0.240	0.273	0.262	0.270	0.287	0.222	0.233	0.268	0.245	0.251
Y/Zr	0.607	0.614	0.537	0.602	0.631	0.611	0.623	0.546	0.568	0.603	0.603	0.620
Sr/Zr	0.405	0.411	0.428	0.456	0.419	0.442	0.416	0.408	0.410	0.417	0.417	0.412
Rb/Zr	1.472	1.483	1.409	1.495	1.488	1.487	1.481	1.339	1.365	1.449	1.467	1.509
Rb%	51.2	51.2	49.7	50.7	51.2	50.8	51.1	48.7	49.2	50.6	50.9	51.7
Sr%	14.1	14.2	15.1	15.4	14.4	15.1	14.4	14.9	14.8	14.5	14.5	14.1
Zr%	34.8	34.6	35.2	33.9	34.4	34.1	34.5	36.4	36.0	34.9	34.7	34.2
円磨度	5	6	4	4	4	3	2	4	3	4	5	3
長軸 (mm)	28.7	24.7	11.1	12.9	22.5	20.7	23.1	13.5	28.6	35.1	17.5	34.8
中間軸	23.5	19.8	10.1	10.0	21.2	17.1	15.3	9.5	23.1	28.4	12.8	27.5
短軸	17.2	13.2	2.7	5.1	12.5	9.6	13.6	5.8	17.7	22.2	6.2	23.9

*腰岳黒曜石との強度比

第3表 (続き)

Sample No.	グループ2										グループ3	グループ4
	94	95	96	97	105	108	109	115	116	117	83	106
Nb*	0.211199	0.217912	0.252105	0.435397	0.531321	0.25325	0.37585	0.240236	0.285963	0.725073	0.242057	0.469109
Zr*	0.187112	0.224288	0.236797	0.388890	0.483644	0.226575	0.373831	0.240934	0.344098	0.745257	0.349837	0.654444
Y*	0.159324	0.193766	0.209936	0.356301	0.4578	0.21267	0.333196	0.202315	0.30521	0.703672	0.264795	0.496267
Sr*	0.176262	0.202914	0.231812	0.376316	0.454118	0.240415	0.340269	0.237934	0.321299	0.679478	0.211441	0.540558
Rb*	0.165242	0.188755	0.210282	0.351097	0.445139	0.207078	0.321463	0.199862	0.30264	0.686519	0.273146	0.472357
Nb*×0.581	0.122707	0.126607	0.146473	0.252966	0.308698	0.147138	0.218369	0.139577	0.166145	0.421267	0.140635	0.272552
Zr*×2.285	0.427551	0.512497	0.541081	0.888614	1.105127	0.517724	0.854204	0.550534	0.786264	1.702912	0.799378	1.495405
Y*×1.480	0.235800	0.286774	0.310705	0.527325	0.677544	0.314752	0.493130	0.299426	0.451711	1.041435	0.391896	0.734474
Sr*	0.176262	0.202914	0.231812	0.376316	0.454118	0.240415	0.340269	0.237934	0.321299	0.679478	0.211441	0.540558
Rb*×3.618	0.597846	0.682916	0.760800	1.270269	1.610513	0.749208	1.163053	0.723101	1.094952	2.483826	0.988240	1.708988
Nb%	7.86	6.99	7.36	7.63	7.43	7.47	7.12	7.16	5.89	6.66	5.56	5.74
Zr%	27.40	28.29	27.18	26.80	26.59	26.29	27.83	28.22	27.88	26.91	31.58	31.47
Y%	15.11	15.83	15.61	15.90	16.30	15.98	16.07	15.35	16.02	16.46	15.48	15.46
Sr%	11.30	11.20	11.64	11.35	10.93	12.21	11.09	12.20	11.39	10.74	8.35	11.38
Rb%	38.32	37.69	38.21	38.31	38.75	38.05	37.90	37.07	38.82	39.25	39.04	35.96
Nb/Sr	0.696	0.624	0.632	0.672	0.680	0.612	0.642	0.587	0.517	0.620	0.665	0.504
Zr/Sr	2.426	2.526	2.334	2.361	2.434	2.153	2.510	2.314	2.447	2.506	3.781	2.766
Y/Sr	1.338	1.413	1.340	1.401	1.492	1.309	1.449	1.258	1.406	1.533	1.853	1.359
Rb/Sr	3.392	3.366	3.282	3.376	3.546	3.116	3.418	3.039	3.408	3.655	4.674	3.162
Nb/Zr	0.287	0.247	0.271	0.285	0.279	0.284	0.256	0.254	0.211	0.247	0.176	0.182
Y/Zr	0.552	0.560	0.574	0.593	0.613	0.608	0.577	0.544	0.575	0.612	0.490	0.491
Sr/Zr	0.412	0.396	0.428	0.423	0.411	0.464	0.398	0.432	0.409	0.399	0.265	0.361
Rb/Zr	1.398	1.333	1.406	1.429	1.457	1.447	1.362	1.313	1.393	1.459	1.236	1.143
Rb%	49.8	48.8	49.6	50.1	50.8	49.7	49.3	47.8	49.7	51.0	49.4	45.6
Sr%	14.7	14.5	15.1	14.8	14.3	15.9	14.4	15.7	14.6	14.0	10.6	14.4
Zr%	35.6	36.7	35.3	35.1	34.9	34.3	36.2	36.4	35.7	35.0	40.0	39.9
円磨度	3	3	3	5	2	5	3	3	4	2	4	4
長軸 (mm)	13.2	15.8	20.8	19.9	22.3	16.4	16.9	13.9	17.7	37.2	18.1	30.1
中間軸	11.5	9.7	12.3	13.4	19.8	10.8	14.1	12.8	13.4	28.3	15.9	21.6
短軸	3.5	4.7	10.2	4.2	12.5	8.7	9.7	5.9	7.9	25.7	8.2	12.6

Sample No.	グループ5										グループ6	
	16	22	38	71	93	98	103	107	112	114	4	28
Nb*	0.370203	0.121264	0.395107	0.298036	0.479844	0.308188	0.434491	0.428357	0.246645	0.339022	0.628624	0.311629
Zr*	0.556206	0.164256	0.578731	0.431761	0.686109	0.398332	0.659595	0.561462	0.45497	0.39291	1.038120	0.553641
Y*	0.299831	0.086125	0.305754	0.232535	0.377132	0.226848	0.353485	0.329584	0.260444	0.21492	0.460766	0.235846
Sr*	0.652445	0.192853	0.616936	0.496885	0.761982	0.432402	0.680740	0.639496	0.476175	0.432285	1.065855	0.542499
Rb*	0.309146	0.094473	0.325661	0.249215	0.39334	0.219534	0.362402	0.315398	0.251565	0.211335	0.450991	0.249344
Nb*×0.581	0.215088	0.070454	0.229557	0.173159	0.278789	0.179057	0.252439	0.248875	0.143301	0.196972	0.365231	0.181056
Zr*×2.285	1.270931	0.375325	1.322400	0.986574	1.567759	0.910189	1.507175	1.282941	1.039606	0.897799	2.372104	1.265070
Y*×1.480	0.443750	0.127465	0.452516	0.344152	0.558155	0.335735	0.523158	0.487784	0.385457	0.318082	0.681934	0.349052
Sr*	0.652445	0.192853	0.616936	0.496885	0.761982	0.432402	0.680740	0.639496	0.476175	0.432285	1.065855	0.542499
Rb*×3.618	1.118490	0.341803	1.178241	0.901660	1.423104	0.794274	1.311170	1.141110	0.910162	0.764610	1.631685	0.902127
Nb%	5.81	6.36	6.04	5.97	6.07	6.75	5.91	6.55	4.85	7.55	5.97	5.59
Zr%	34.34	33.88	34.80	33.99	34.16	34.33	35.26	33.76	35.18	34.40	38.78	39.05
Y%	11.99	11.51	11.91	11.86	12.16	12.66	12.24	12.84	13.05	12.19	11.15	10.77
Sr%	17.63	17.41	16.24	17.12	16.60	16.31	15.92	16.83	16.12	16.56	17.43	16.74
Rb%	30.22	30.85	31.01	31.07	31.01	29.95	30.67	30.03	30.80	29.30	26.68	27.85
Nb/Sr	0.330	0.365	0.372	0.348	0.366	0.414	0.371	0.389	0.301	0.456	0.343	0.334
Zr/Sr	1.948	1.946	2.143	1.986	2.057	2.105	2.214	2.006	2.183	2.077	2.226	2.332
Y/Sr	0.680	0.661	0.733	0.693	0.733	0.776	0.769	0.763	0.809	0.736	0.640	0.643
Rb/Sr	1.714	1.772	1.910	1.815	1.868	1.837	1.926	1.784	1.911	1.769	1.531	1.663
Nb/Zr	0.169	0.188	0.174	0.176	0.178	0.197	0.167	0.194	0.138	0.219	0.154	0.143
Y/Zr	0.349	0.340	0.342	0.349	0.356	0.369	0.347	0.380	0.371	0.354	0.287	0.276
Sr/Zr	0.513	0.514	0.467	0.504	0.486	0.475	0.452	0.498	0.458	0.481	0.449	0.429
Rb/Zr	0.880	0.911	0.891	0.914	0.908	0.873	0.870	0.889	0.875	0.852	0.688	0.713
Rb%	36.8	37.6	37.8	37.8	37.9	37.2	37.5	37.2	37.5	36.5	32.2	33.3
Sr%	21.4	21.2	19.8	20.8	20.3	20.2	19.5	20.9	19.6	20.6	21.0	20.0
Zr%	41.8	41.2	42.4	41.4	41.8	42.6	43.1	41.9	42.9	42.9	46.8	46.7
円磨度	3	5	4	5	4	2	4	6	2	3	6	3
長軸 (mm)	27.4	11.4	19.8	22.2	38.1	18.3	26.1	27.9	22.5	18.8	28.3	20.9
中間軸	21.1	8.5	17.7	10.2	28.0	15.7	21.7	17.1	14.4	13.9	20.6	13.3
短軸	15.0	3.2	11.0	7.0	21.8	8.8	14.5	11.9	12.4	12.0	10.3	7.7

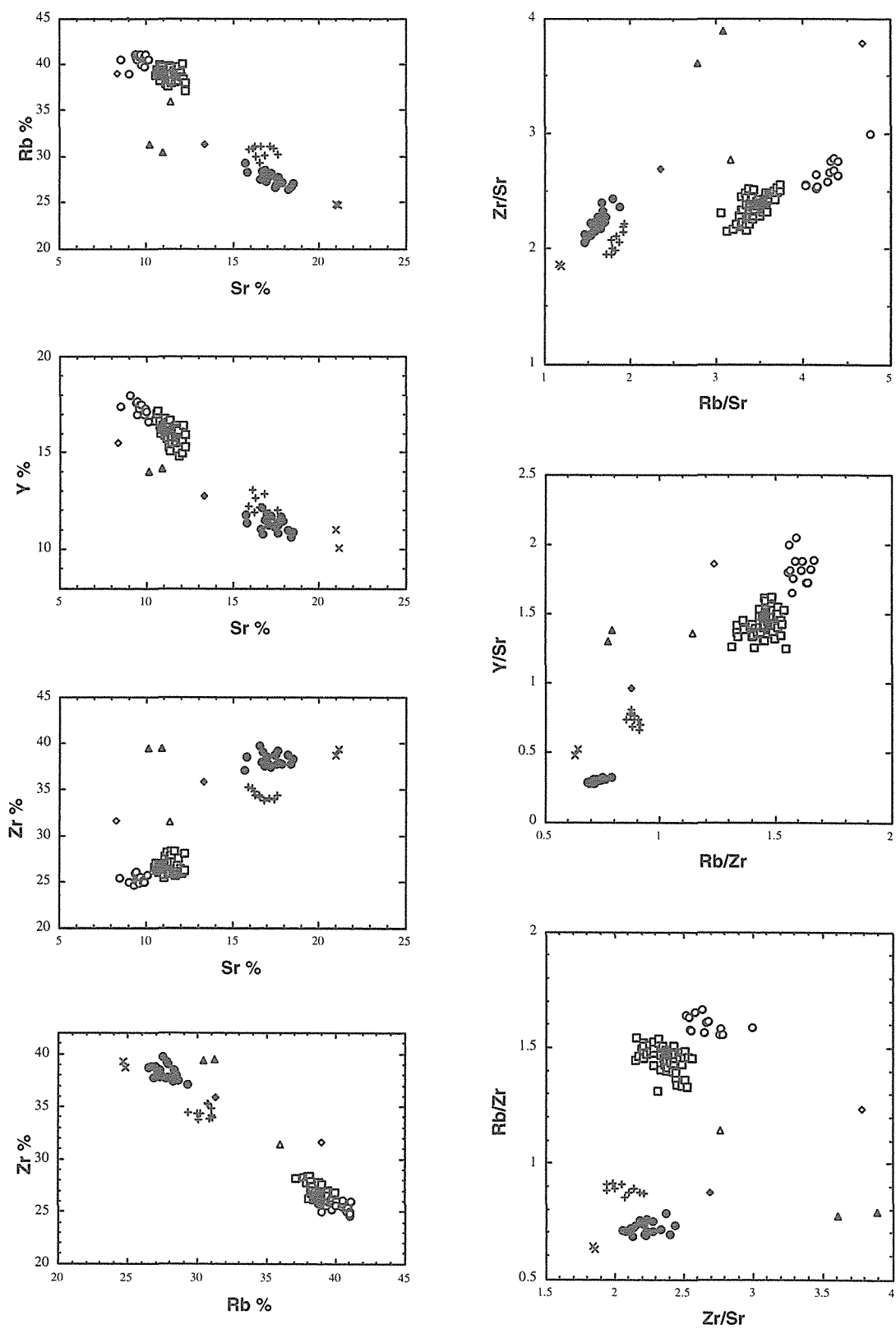
*腰岳黒曜石との強度比

第3表 (続き)

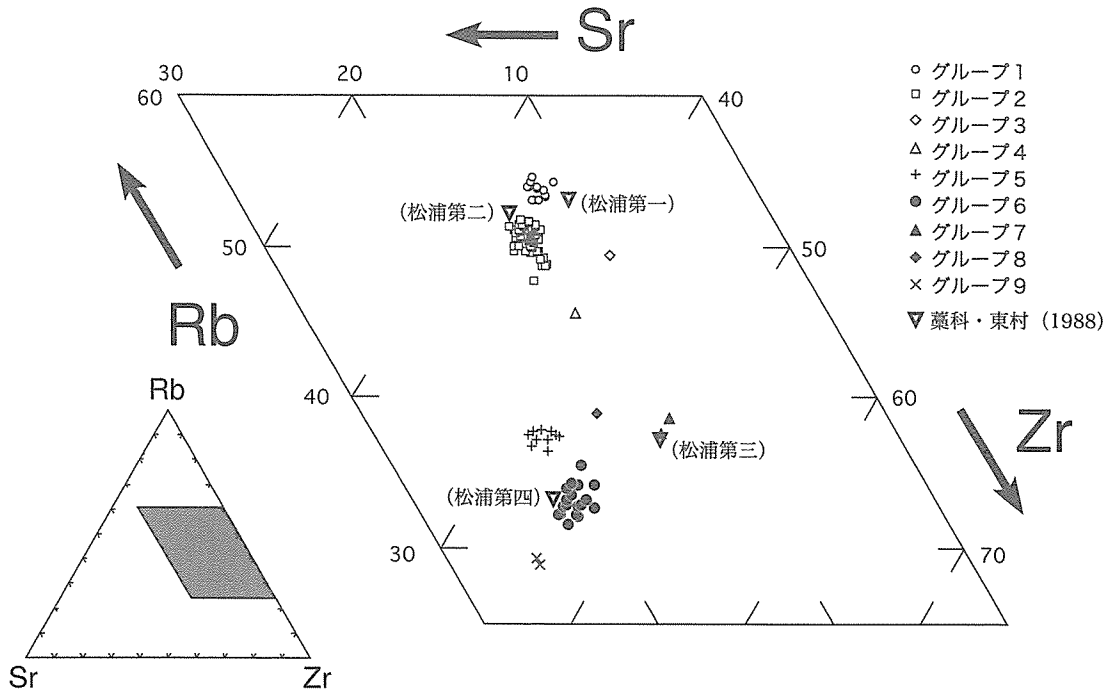
Sample No.	グループ6											
	30	39	46	53	61	74	86	89	90	91	92	99
Nb*	0.360559	0.283510	0.477253	0.374091	0.233896	0.299930	0.289900	0.473758	0.498051	0.426564	0.675594	0.251121
Zr*	0.712336	0.457050	0.829723	0.602956	0.512914	0.517631	0.527962	0.817481	0.884437	0.774545	1.195113	0.516854
Y*	0.305697	0.208340	0.363178	0.277981	0.218988	0.243109	0.250885	0.386730	0.396562	0.368096	0.580021	0.255762
Sr*	0.678670	0.428520	0.891063	0.623479	0.525098	0.558887	0.564431	0.837043	0.912499	0.777972	1.254206	0.518542
Rb*	0.311051	0.21173	0.35759	0.280596	0.22893	0.235597	0.24051	0.392349	0.387847	0.346226	0.568549	0.244423
Nb*×0.581	0.209485	0.164719	0.277284	0.217347	0.135894	0.174259	0.168432	0.275253	0.289368	0.247834	0.392520	0.145901
Zr*×2.285	1.627688	1.044359	1.895917	1.377754	1.172008	1.182787	1.206393	1.867944	2.020939	1.769835	2.730833	1.181011
Y*×1.480	0.452432	0.308343	0.537503	0.411412	0.324102	0.359801	0.371310	0.572360	0.586912	0.544782	0.858431	0.378528
Sr*	0.678670	0.428520	0.891063	0.623479	0.525098	0.558887	0.564431	0.837043	0.912499	0.777972	1.254206	0.518542
Rb*×3.618	1.125383	0.766039	1.293761	1.015196	0.828269	0.852390	0.870165	1.419517	1.403230	1.252646	2.057010	0.884322
Nb%	5.12	6.07	5.66	5.96	4.55	5.57	5.30	5.54	5.55	5.40	5.38	4.69
Zr%	39.76	38.51	38.73	37.80	39.26	37.81	37.93	37.57	38.77	38.53	37.44	38.00
Y%	11.05	11.37	10.98	11.29	10.86	11.50	11.67	11.51	11.26	11.86	11.77	12.18
Sr%	16.58	15.80	18.20	17.10	17.59	17.87	17.75	16.83	17.50	16.94	17.20	16.68
Rb%	27.49	28.25	26.43	27.85	27.74	27.25	27.36	28.55	26.92	27.27	28.21	28.45
Nb/Sr	0.309	0.384	0.311	0.349	0.259	0.312	0.298	0.329	0.317	0.319	0.313	0.281
Zr/Sr	2.398	2.437	2.128	2.210	2.232	2.116	2.137	2.232	2.215	2.275	2.177	2.278
Y/Sr	0.667	0.720	0.603	0.660	0.617	0.644	0.658	0.684	0.643	0.700	0.684	0.730
Rb/Sr	1.658	1.788	1.452	1.628	1.577	1.525	1.542	1.696	1.538	1.610	1.640	1.705
Nb/Zr	0.129	0.158	0.146	0.158	0.116	0.147	0.140	0.147	0.143	0.140	0.144	0.124
Y/Zr	0.278	0.295	0.284	0.299	0.277	0.304	0.308	0.306	0.290	0.308	0.314	0.321
Sr/Zr	0.417	0.410	0.470	0.453	0.448	0.473	0.468	0.448	0.452	0.440	0.459	0.439
Rb/Zr	0.691	0.734	0.682	0.737	0.707	0.721	0.721	0.760	0.694	0.708	0.753	0.749
Rb%	32.8	34.2	31.7	33.7	32.8	32.9	32.9	34.4	32.4	33.0	34.0	34.2
Sr%	19.8	19.1	21.8	20.7	20.8	21.5	21.4	20.3	21.0	20.5	20.8	20.1
Zr%	47.4	46.6	46.5	45.7	46.4	45.6	45.7	45.3	46.6	46.6	45.2	45.7
円磨度	2	4	1	4	1	5	2	3	2	3	4	5
長軸 (mm)	27.3	22.4	31.8	21.6	23.0	23.0	27.9	55.2	54.3	40.8	40.7	22.3
中間軸	23.1	18.5	24.9	19.0	14.9	20.1	22.1	42.4	37.0	31.9	31.9	19.5
短軸	15.4	10.6	13.7	15.1	12.3	12.7	17.7	25.4	22.2	25.3	19.1	7.0

Sample No.	グループ6				グループ7		グループ8	グループ9	
	100	102	111	113	17	70	31	101	104
Nb*	0.135518	0.140418	0.337164	0.747684	0.457388	0.704526	0.574493	0.122158	0.368728
Zr*	0.227961	0.210274	0.52619	1.423513	0.902818	1.361467	0.771136	0.268405	0.775409
Y*	0.105062	0.091482	0.258314	0.625341	0.502583	0.746111	0.423390	0.117723	0.306404
Sr*	0.242468	0.233719	0.507896	1.566917	0.572174	0.799436	0.654471	0.333292	0.953630
Rb*	0.105518	0.0943	0.261504	0.636058	0.440709	0.680398	0.425505	0.108654	0.307211
Nb*×0.581	0.078736	0.081583	0.195892	0.434404	0.265742	0.409330	0.333780	0.070974	0.214231
Zr*×2.285	0.520891	0.480476	1.202344	3.252727	2.062939	3.110952	1.762046	0.613305	1.771810
Y*×1.480	0.155492	0.135393	0.382305	0.925505	0.743823	1.104244	0.626617	0.174230	0.453478
Sr*	0.242468	0.233719	0.507896	1.566917	0.572174	0.799436	0.654471	0.333292	0.953630
Rb*×3.618	0.381764	0.341177	0.946121	2.301258	1.594485	2.461680	1.539477	0.393110	1.111489
Nb%	5.71	6.41	6.06	5.12	5.07	5.19	6.79	4.48	4.76
Zr%	37.76	37.76	37.17	38.35	39.38	39.45	35.84	38.70	39.33
Y%	11.27	10.64	11.82	10.91	14.20	14.00	12.75	10.99	10.07
Sr%	17.58	18.37	15.70	18.48	10.92	10.14	13.31	21.03	21.17
Rb%	27.68	26.81	29.25	27.13	30.43	31.22	31.31	24.80	24.67
Nb/Sr	0.325	0.349	0.386	0.277	0.464	0.512	0.510	0.213	0.225
Zr/Sr	2.148	2.056	2.367	2.076	3.605	3.891	2.692	1.840	1.858
Y/Sr	0.641	0.579	0.753	0.591	1.300	1.381	0.957	0.523	0.476
Rb/Sr	1.574	1.460	1.863	1.469	2.787	3.079	2.352	1.179	1.166
Nb/Zr	0.151	0.170	0.163	0.134	0.129	0.132	0.189	0.116	0.121
Y/Zr	0.299	0.282	0.318	0.285	0.361	0.355	0.356	0.284	0.256
Sr/Zr	0.465	0.486	0.422	0.482	0.277	0.257	0.371	0.543	0.538
Rb/Zr	0.733	0.710	0.787	0.707	0.773	0.791	0.874	0.641	0.627
Rb%	33.3	32.3	35.6	32.3	37.7	38.6	38.9	29.3	29.0
Sr%	21.2	22.1	19.1	22.0	13.5	12.5	16.5	24.9	24.9
Zr%	45.5	45.5	45.3	45.7	48.8	48.8	44.5	45.8	46.2
円磨度	1	3	4	3	2	5	4	2	3
長軸 (mm)	7.5	17.0	18.3	44.4	33.2	44.2	28.0	21.0	40.0
中間軸	5.3	14.0	13.9	35.5	19.7	37.0	26.9	10.0	32.8
短軸	9.4	8.2	10.6	27.2	16.7	27.2	13.5	12.5	22.4

*腰岳黒曜石との強度比



第9図 測定された黒曜石礫の化学組成図 凡例は第10図に示す



第10図 黒曜石礫のRb-Sr-Zr図

藁科・東村 (1988) による松浦市産黒曜石の平均値もプロットした

された場合、(2)異なった数カ所の原産地で生成した黒曜石が、地形の変化等で同じ場所に流れ着いてできた原産地である場合をあげている。すなわち松浦市の黒曜石は二次的な原産地であり、腰岳と同じ組成の黒曜石円礫に限らず、他の組成の原石も採取されると述べている。

藁科・東村 (1988) で報告された元素比と、今回の測定で得られた元素比を比較すると、理由はわからないがY/Zr比は大きく値が異なるものの、Rb/Zr, Sr/Zr, Nb/Zrはほぼ近い値となっている。このことは、今回の測定法はエネルギー分散型蛍光X線分析法により得られた過去の黒曜石分析データと比較することも出来る事を意味している。Rb/Zr, Sr/Zr, Nb/Zrの値を比較すると、本研究のグループ1が藁科・東村 (1988) の松浦第一に、グループ2が松浦第二に、グループ7が松浦第三に、グループ6が松浦第四にそれぞれ対比されるもの考えられる (第10図)。一方、二宮ほか (1991) は機器中性子放射化分析によりNa, Fe,

Rb, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Th, Hf, Co, Sc, Crの15元素の分析をおこない、牟田産の黒曜石は露頭が確認されないがほぼ一系統の黒曜石であり、腰岳のものに類似することを述べている。しかし彼らはわずか5試料しか分析していないので、そこに産する黒曜石を代表していたかどうかは疑わしい。

いずれにしても、松浦市産の黒曜石礫は、化学組成からは一部のものが腰岳と同じ組成を有することは、今回の研究を含めて全ての研究者の間で一致している。ただし、藁科・東村 (1988) は松浦第一 (本研究のグループ1に相当) が腰岳と同じとしているが、本研究の結果ではグループ2が腰岳と同一の組成である結論が得られている。このことから、腰岳産の黒曜石には2種類の化学組成が存在するのかもしれない。

V. まとめ

(1)波長分散型蛍光X線分析装置を用いた黒曜石の

非破壊分析法を開発した。また、従来から報告されているエネルギー分散型蛍光X線分析法によるデータとの整合性も確認できた。

(2)松浦市御厨町大崎免から産する黒曜石は亜角礫～超円礫がその大半を占め、これらはほぼ同じ割合で存在する。また、礫径は8mm～63mmであったが、長軸が20～25mmのやや扁平な楕円形をしているものが最も多い。

(3)蛍光X線分析の結果、ここに産する黒曜石は9つの異なるグループに分けられる事が明らかとなった。これらのグループのうち一つもしくは二つが腰岳の黒曜石と化学組成が類似している事が確認できた。

謝辞：長崎大学教育学部の長岡信治氏と小値賀町教育委員会の塚原 博氏には、松浦市の黒曜石の産地について教えて頂きました。厚くお礼申し上げます。

引用文献

角 縁 進・石坂岳士・川野良信 (1999) ガラス円板を用いた珪酸塩岩石中の主成分元素および微量元素の蛍光X線分析。佐賀大学文化教育学部研究論文集, vol.3, No.2, 133-140.

角 縁 進・宇都宮 恵 (2002) 蛍光X線分析法による黒曜石の産地同定(1)。佐賀大学文化教育学部研究論文集, vol.7, No.1, 49-52.

二宮修治・網干 守・藁科 実・大沢真澄 (1991) 北部九州地方および隠岐の黒曜石の諸種美呂いう成分元素存在量 ―遺跡出土黒曜石石器の原産地推定の基礎研究として―。文部省科学研究費報告書「黒曜石の化学組成：遺跡出土黒曜石石器の原産地推定の基礎として」, 40-53.

望月昭彦 (1998) 黒曜石の原産地を推定する蛍光X線分析法。平尾良光・山根良二編「文化財を巡る科学の目2 石器・土器・装飾品を巡る」, 国土社, 15-20.

Pettijohn, F.J. (1975) *Sedimentary Rocks* (3rd ed.). Harper & Row, New York.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1972) *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, New York.

副島和明 (1982) 針尾産黒曜石の原石について、針尾人崎遺跡。長崎県文化財調査報告書, 60, 41-48.

藁科哲男・東村武信 (1985) 西南日本地域の黒曜石研究。考古学ジャーナル, 244, 12-17

藁科哲男・東村武信 (1988) 石器原材の産地分析。考古学と関連科学, 鎌木義昌先生古稀記念論文集刊行会, 447-491.